

Pengaruh Kandungan Tempurung Kelapa terhadap Luas Permukaan Spesifik Karbon Nanopori

Effects of Coconut Shell's Contents to the Specific Surface Area of Nanoporous Carbon

Ian Ramadhani¹, I. P. Handayani², Memoria Rosi³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ianramadhani@student.telkomuniversity.ac.id, ²iphandayani@telkomuniversity.ac.id,
³memoriarosi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Karbon nanopori terdiri dari bahan padat berisi karbon dan rongga kosong (pori) [1] yang memiliki ukuran kurang dari 100 nm [2]. Beberapa pemanfaatan karbon nanopori antara lain sebagai bahan penyerap dan penyimpanan gas seperti gas CO₂ [3] dan gas hidrogen [4], desalinasi [5], elektroda penyimpan energi [6], dan dapat menyerap ion logam uranium [7]. Untuk bahan elektroda kapasitor yang terbuat dari karbon nanopori, diperlukan karbon dengan porositas tinggi [8] dan memiliki volume pori total diatas 90% [9]. Salah satu sumber karbon adalah tempurung kelapa [10]. Pada penelitian ini, dilakukan sintesis karbon nanopori berbahan dasar tempurung kelapa yang diambil dari lima tempat berbeda yaitu Pasar Suci, Pasar Gedebage, Pasar Kiaracondong, Pasar Caringin, dan Pasar Dayeuhkolot. Karakterisasi pori pada karbon nanopori dilakukan dengan metoda *Nitrogen Isotherm Physisorption* dan menghasilkan luas permukaan spesifik maksimum sebesar 891,212 m²/g dengan volum pori total 0,467 cc/g. Luas permukaan maksimum ini diperoleh dari tempurung kelapa Pasar Caringin dengan kandungan karbon sebesar 84,7418 %. Sedangkan karakterisasi sifat listrik dilakukan dengan *Cyclic Voltammetry* menggunakan elektroda yang terbuat dari campuran karbon nanopori, karbon *black* dan PVDF dengan perbandingan massa sebesar 8:1:1. Dari karakterisasi ini diperoleh kapasitansi maksimum sebesar 3,07 F/g dari tempurung kelapa Pasar Gedebage dengan kandungan karbon sebesar 83,1582 %. Dari kelima sampel yang diuji, tidak ada kaitan antara jumlah karbon pada permukaan karbon nanopori.

Kata kunci: Karbon Nanopori, Luas Permukaan Spesifik, Kandungan Awal, Tempurung Kelapa

Abstract

Nanoporous carbon consists of a solid material containing carbon and an empty (pore) cavity [1] that has a size less than 100 nm [2]. Some of the utilization of nanoporous carbon is, for example, as an absorbent and storage material of gases such as CO₂ [3] and hydrogen [4], desalination [5], energy storage electrodes [6], and can absorb uranium metal ions [7]. For capacitor electrode materials made of nanoporous carbon, carbon is required with high porosity [8] and has a total pore volume above 90% [9]. One of carbon source is a coconut shell [10]. In this research, nanoporous carbon synthesized from coconut shells that was taken from five different places: Pasar Suci, Pasar Gedebage, Pasar Kiaracondong, Pasar Caringin, and Pasar Dayeuhkolot. Pores characterization was done using *Nitrogen Isotherm Physisorption* method and yields a maximum specific surface area of 891,212 m²/g with total pore volume of 0,467 cc/g. This maximum specific surface area was obtained from coconut shells which was taken from Pasar Caringin consisting of 84,7418 % carbon. The characterization of electric property was conducted using *Cyclic Voltammetry* with nanoporous carbon, black karbon, and PVDF based electrode that has 8:1:1 mass ratio. From this characterization, a maximum capacitance of 3,07 F/g was obtained from Pasar Gedebage's coconut shell that has 83,1582 % carbon. From all five samples, there was no relation between carbon percentage and nanoporous carbon's specific surface area.

Keywords: Nanoporous Carbon, Specific Surface Area, Initial Contents, Coconut Shell

1. Pendahuluan

Karbon nanopori terdiri dari bahan padat berisi karbon dengan rongga kosong (pori) [1] berukuran kurang dari 100 nm [2]. Beberapa pemanfaatan karbon nanopori antara lain sebagai bahan penyerap dan

penyimpanan gas seperti gas CO₂ [3] dan gas hidrogen [4], desalinasi [5], elektroda penyimpan energi [6], dan dapat menyerap ion logam uranium [7]. Untuk bahan elektroda kapasitor yang terbuat dari karbon nanopori, diperlukan karbon dengan porositas tinggi [8] dan memiliki volum pori total diatas 90 % [9].

Salah satu sumber karbon adalah tempurung kelapa yang memiliki kandungan molekul organik berupa material selulosa dan lignin [10] serta dapat menghasilkan karbon jika dipanaskan pada temperatur 400 °C [11]. Penelitian tentang sintesis karbon nanopori dari tempurung kelapa sebelumnya telah dilakukan oleh K. Yang dkk [12] yang menghasilkan karbon nanopori dengan luas permukaan 2288 m²/g setelah melalui proses karbonisasi yang dilakukan pada temperatur 1000 °C selama 2 jam dengan dialiri gas N₂ sebanyak 100 cc/menit dan aktivasi secara fisika dengan memberikan aliran gas CO₂ sebanyak 600 cc/menit selama 210 menit pada temperatur 900 °C. Hu dan Srinivasan [13] menghasilkan karbon nanopori dengan luas permukaan 2728 m²/g setelah melalui proses karbonisasi yang dilakukan pada temperatur 800 °C selama 2-3 jam dan diaktivasi menggunakan aktivator ZnCl₂ bersamaan dengan proses karbonisasi. Iqbalidin dkk [14] menghasilkan karbon nanopori dengan luas permukaan 1768,8 m²/g dengan cara melakukan proses karbonisasi menggunakan *microwave* berdaya 600 W dengan aktivator KOH sebanyak 50 %. Penggunaan KOH sebagai aktivator juga dilakukan oleh Eryati [15] dan Dewi [16], dengan sumber tempurung kelapa dari tempat yang berbeda yaitu Pasar Suci dan Pasar Dayeuhkolot Bandung. Karbonisasi dilakukan terlebih dahulu pada temperatur 500 °C selama 1 jam, kemudian dilanjutkan dengan aktivasi menggunakan KOH dengan perbandingan 1:3 dari karbon. Penelitian tersebut menghasilkan luas permukaan spesifik karbon sebesar 1657,1 m²/g dan 1000 m²/g.

Dari hasil penelitian Eryati [15] dan Dewi [16], luas permukaan spesifik yang dihasilkan berbeda cukup jauh meskipun proses karbonisasi dan aktivasi yang dilakukan sama. Perbedaan ini menimbulkan pertanyaan, faktor apakah yang mempengaruhi luas permukaan dari karbon nanopori. Karena itu, pada penelitian ini akan dipelajari faktor yang mempengaruhi luas permukaan dari tempurung kelapa yang diambil dari tempat yang berbeda yaitu Pasar Gedebage, Pasar Suci, Pasar Dayeuhkolot, Pasar Caringin, dan Pasar Kiara Condong Bandung. Sebelum dilakukan proses karbonisasi dan aktivasi, akan diteliti terlebih dahulu kandungan yang dimiliki masing-masing tempurung kelapa dengan melakukan uji SEM-EDS. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kondisi awal dari tempurung kelapa yang akan diteliti, sehingga selama proses sintesis, perlakuan yang diberikan pada setiap tempurung kelapa sama. Karakterisasi yang akan digunakan adalah SEM-EDS untuk mengetahui bentuk permukaan sampel serta jumlah unsur-unsur di permukaan sampel, metoda nitrogen isotherm physisorption dengan analisa BET untuk mengetahui luas permukaan spesifik karbon, dan Cyclic Voltammetry untuk mengetahui sifat listrik dan kapasitansi karbon. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi pengaruh kandungan awal tempurung kelapa terhadap kualitas karbon nanopori yang dihasilkan dan perlakuan yang harus diberikan agar menghasilkan luas permukaan spesifik tinggi.

2. Eksperimen

2.1 Proses Preparasi

Tempurung kelapa yang digunakan adalah tempurung dari kelapa yang sudah tua dengan warna coklat gelap dan memiliki sifat mekanik yang kuat serta tidak basah. Pertama-tama tempurung dibersihkan dari serabut dan kotoran lain yang menempel. Kemudian tempurung yang telah bersih di hancurkan (*crushing*) menggunakan *hammer mill* hingga berukuran 1-2 mm. Tempurung yang telah hancur dibersihkan dari selulosanya agar tidak mengganggu proses karbonisasi.

2.2 Proses Karbonisasi

Tempurung kelapa yang telah dipreparasi dibakar di dalam *furnace* bertemperatur 500 °C selama 1 jam. Setelah itu tempurung yang telah menjadi arang karbon dihaluskan menggunakan mortar dan disaring sebelum diaktivasi.

2.3 Proses Aktivasi

Arang karbon yang telah halus direndam pada KOH dengan perbandingan terhadap karbon 1:3. Aquadest ditambahkan hingga karbon dan KOH terendam sepenuhnya. Campuran tersebut di *stir* hingga homogen pada temperatur 110 °C selama 2 jam. Kemudian karbon disaring dan dipindahkan ke dalam *crucible*, dan dimasukkan ke *furnace* pada temperatur 800 °C selama 30 menit. Karbon yang telah diaktivasi tersebut dicuci untuk menetralkan pH. Proses pencucian dilakukan dengan menambahkan HCl 1M pada karbon hingga terendam, dan di *stir* pada temperatur 50 °C selama 2 jam. Setelah itu, HCl dibuang dan diganti dengan aquadest. Campuran tersebut di *stir* pada temperatur 50 °C selama 2 jam. Proses ini dilakukan bergantian sebanyak 3 kali sampai pH karbon netral. Setelah itu karbon

dikeringkan dengan menggunakan vakum. Jika pH karbon belum netral, aquadest dialirkan pada saat karbon divakum hingga pH karbon netral. Karbon yang telah divakum dimasukkan ke dalam oven pada suhu 110 °C selama 1 jam untuk menghilangkan kadar air yang tersimpan pada karbon.

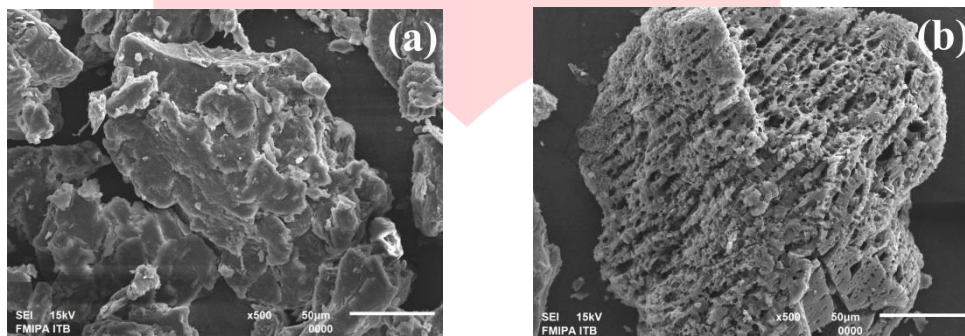
2.4 Karakterisasi Material

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini yang pertama adalah SEM-EDS. SEM-EDS dilakukan untuk mengetahui kandungan pada sampel tempurung kelapa, karbon arang, dan karbon nanopori. Berikutnya adalah karakterisasi *Nitrogen Isotherm Physisorption* yang memanfaatkan prinsip adsorpsi secara fisika dengan cara mengalirkan gas N₂ mulai dari tekanan rendah (p) menuju tekanan saturasi (p_0) pada keadaan isotherm (77 K). Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, volume pori, dan distribusi ukuran pori pada karbon nanopori. Yang terakhir adalah karakterisasi *Cyclic Voltammetry*. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui kapasitansi dan sifat listrik dari elektroda berbahan karbon nanopori.

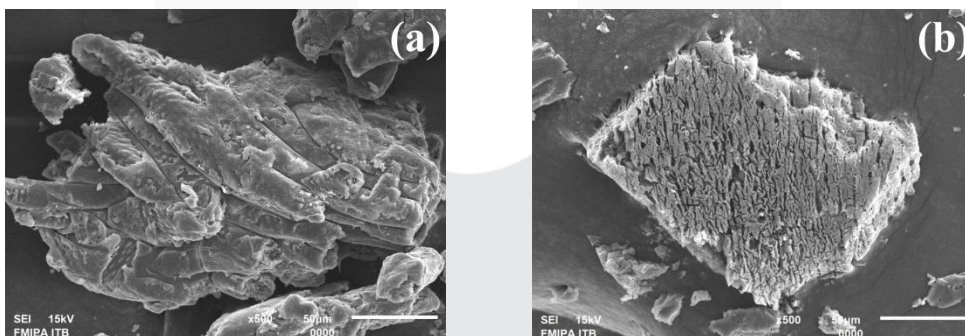
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi SEM-EDS

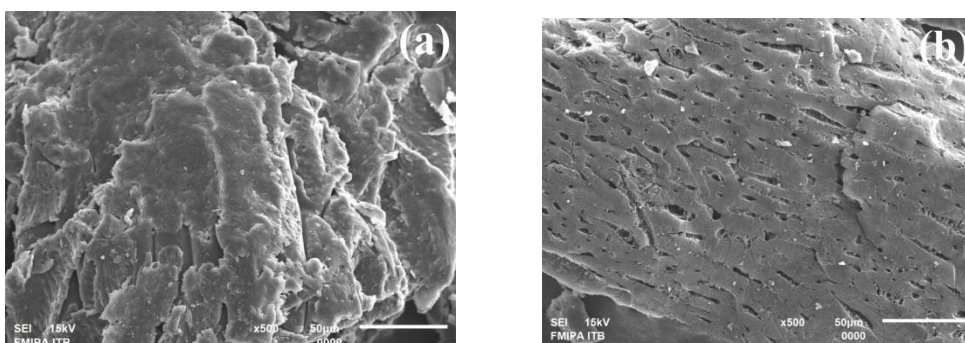
Karakterisasi SEM tempurung kelapa dan karbon nanopori dari lima tempat yang berbeda ditunjukkan oleh Gambar 3.1 sampai Gambar 3.5 dengan perbesaran 500 kali.



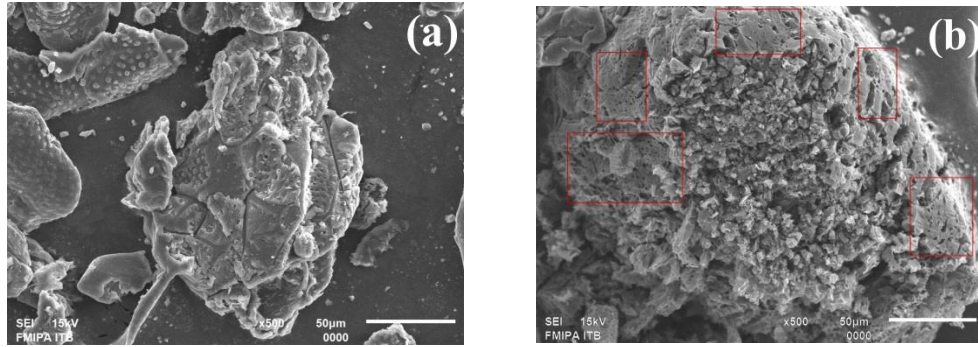
Gambar 3.1 Morfologi sampel (a) tempurung kelapa dan (b) karbon nanopori dari Pasar Suci



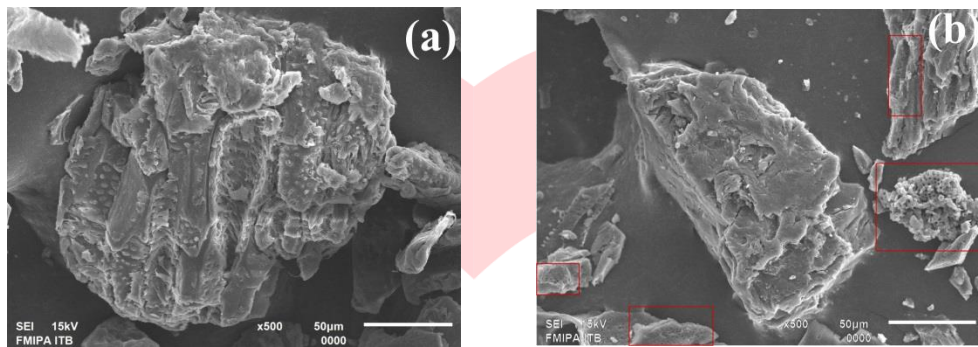
Gambar 3.2 Morfologi sampel (a) tempurung kelapa dan (b) karbon nanopori dari Pasar Gedebage



Gambar 3.3 Morfologi sampel (a) tempurung kelapa dan (b) karbon nanopori dari Pasar Kiaracondong



Gambar 3.4 Morfologi sampel (a) tempurung kelapa dan (b) karbon nanopori dari Pasar Caringin



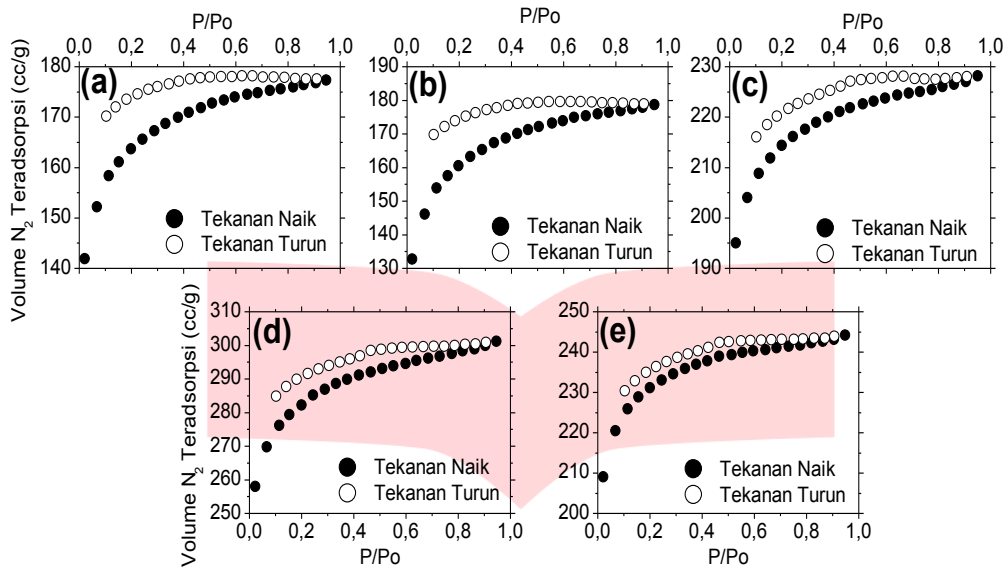
Gambar 3.5 Morfologi sampel (a) tempurung kelapa dan (b) karbon nanopori dari Pasar Dayeuhkolot

Pada Gambar 3.1 (a) sampai Gambar 3.5 (a) terlihat bahwa tempurung kelapa tidak memiliki pori dan terdiri dari partikel-partikel yang membentuk gumpalan. Pada Gambar 3.1 (b), tempurung kelapa yang telah melalui proses karbonisasi dan aktivasi memiliki porositas yang tersebar di seluruh permukaan partikel dengan jarak antar pori sekitar 2-5 μm dan ukuran pori yang berkisar antara 3-6 μm . Gambar 3.2 (b) memiliki mayoritas ukuran pori sebesar 1,25 μm serta tersebar hampir di seluruh permukaan partikel dengan bentuk pori menyerupai garis yang bercabang dan jarak antar pori sebesar 0,625 μm . Gambar 3.3 (b) memiliki porositas berukuran 2,5 μm yang terlihat tidak cukup terbuka dengan jarak antar pori mencapai 15 μm . Gambar 3.4 (b) memiliki rongga berukuran sekitar 2,5 μm di antara partikel-partikel yang saling bertumpuk dan di sekitarnya terdapat pori dengan ukuran yang berkisar dari 0,5-5 μm . Gambar 3.5 (b) menunjukkan sebuah gumpalan tanpa pori, dan di sekitar gumpalan tersebut terdapat gumpalan lain yang berukuran lebih kecil dan memiliki porositas dengan ukuran 0,5-1 μm . Pori yang dimaksud pada Gambar 4.4 (b) dan 4.5 (b) ditunjukkan oleh kotak merah.

Dari karakterisasi EDS, diketahui kandungan karbon terbanyak dimiliki oleh tempurung kelapa dari Caringin (84,7418 %) dan kandungan karbon paling sedikit dimiliki oleh tempurung kelapa dari Kiaracandong (83,1359 %). Sedangkan kandungan karbon terbanyak dimiliki oleh karbon nanopori Dayeuhkolot (98,2566 %) dan Caringin memiliki kandungan karbon paling sedikit (94,3448 %).

3.2 Karakterisasi Nitrogen Isotherm Physisorption

Hasil dari karakterisasi ini berupa kurva volum yang teradsorpsi oleh adsorbat terhadap tekanan tekanan relatifnya yang ditunjukkan oleh Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Kurva volum gas nitrogen teradsorpsi terhadap tekanan relatif dari sampel (a) Suci, (b) Gedebage, (c) Kiaracondong, (d) Caringin, dan (e) Dayeuhkolot

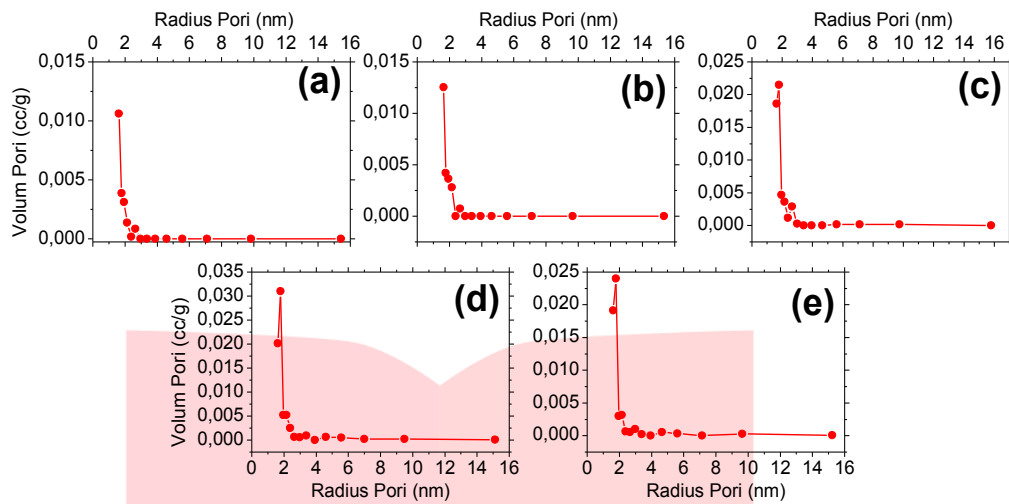
Berdasarkan Gambar 3.6, terlihat bahwa kelima kurva memiliki tipe I adsorpsi *isotherm physisorption* yang menunjukkan mayoritas sampel karbon nanopori terdiri dari mikropori (<2 nm). Namun demikian, kurva mengalami kenaikan (tipe II) yang menunjukkan adanya kontribusi makropori atau tanpa pori (>50 nm) [17]. Pada kelima kurva terdapat juga histerisis yang tidak menyentuh titik awal. Hal ini terjadi karena sampel yang kurang halus ketika dilakukan karakterisasi sehingga partikel karbon yang lebih besar akan terukur sebagai makropori atau tanpa pori yang membuat kurva terus naik. Akibatnya, volum mesopori tidak dapat ditentukan dengan pasti.

Dari kurva yang ditunjukkan Gambar 3.6, dapat ditentukan besarnya luas permukaan spesifik karbon nanopori, volum pori total, volum mikropori, dan radius pori rata-rata [18]. Hasil perhitungan ditunjukkan oleh Tabel 3.1 dengan V_{lain} merupakan jumlah volum mesopori dan makropori yang tidak dapat dihitung jumlah pastinya masing-masing.

Tabel 3.1 Karakteristik karbon nanopori berbahan tempurung kelapa

Sampel	S_{BET} (m^2/g)	\bar{r} (nm)	V_{T} (cc/g)	V_{μ} (cc/g)	V_{lain} (cc/g)
Suci	522,330	1,0528	0,27495	0,005921	0,269029
Gedebage	517,860	1,0700	0,27706	0,00598	0,27108
Kiaracondong	676,806	1,0456	0,35384	0,004565	0,349275
Caringin	891,212	1,0480	0,46700	0,003465	0,463535
Dayeuhkolot	730,111	1,0371	0,37861	0,004233	0,374377

Distribusi ukuran pori dengan metoda BJH ditunjukkan Gambar 4.7.

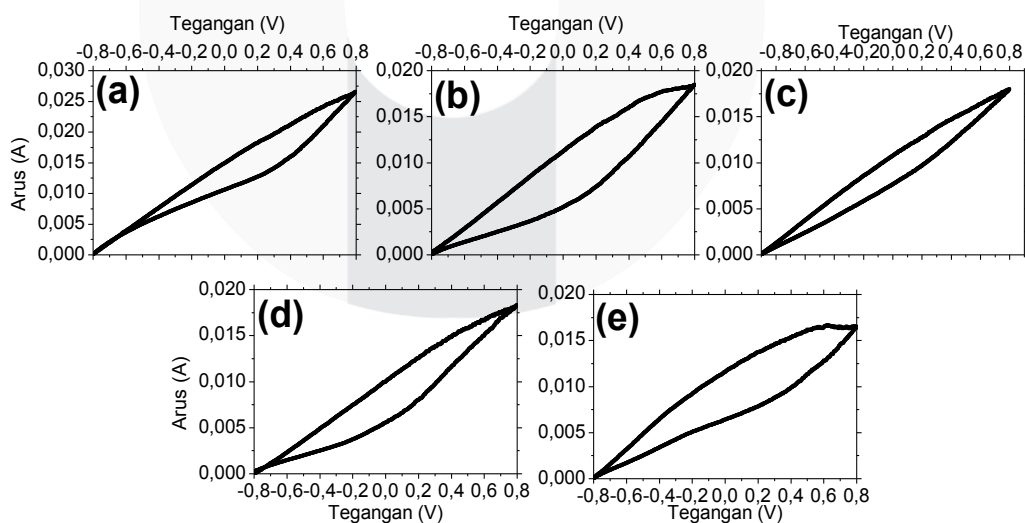


Gambar 4.7 Kurva distribusi ukuran pori dengan metoda BJH dari sampel (a) Suci, (b) Gedebage, (c) Kiaracandong, (d) Caringin, dan (e) Dayeuhkolot

Dari Gambar 4.7, terlihat bahwa pori yang dihasilkan oleh kelima sampel memiliki rentang ukuran jari-jari 0-16 nm, dengan ukuran pori kurang dari 2 nm paling dominan. Karena dominasi ukuran pori yang sama, berarti ukuran pori yang dihasilkan oleh setiap sampel terdistribusi dengan baik.

3.3 Karakterisasi *Cyclic Voltammetry*

Hasil dari karakterisasi ini berupa kurva arus terhadap tegangan dengan *scanrate* 100 mV/s seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kurva *Cyclic Voltammetry* dari sampel (a) Suci, (b) Gedebage, (c) Kiaracandong, (d) Caringin, dan (e) Dayeuhkolot

Dari kurva pada Gambar 4.8, nilai kapasitansi elektroda dapat dicari dengan mencari luas permukaan di bawah kurva [15]. Kemudian diperoleh nilai kapasitansi dari sampel Suci, Gedebage, Kiaracandong, Caringin, dan Dayeuhkolot berturut-turut adalah 2,26 F/g, 3,07 F/g, 1,65 F/g, 2,08 F/g, dan 2,92 F/g.

3.4 Rangkuman Hasil Karakterisasi

Dari masing-masing karakterisasi yang telah dilakukan, didapatkan hasil yang ditunjukkan Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil dari karakterisasi karbon dan karbon nanopori yang telah dilakukan

Sumber		Suci		Gedebage		Kiaracandong		Caringin		Dayeuhkolot	
		Tempurung Kelapa	Karbon Nanopori	Tempurung Kelapa	Karbon Nanopori	Tempurung Kelapa	Karbon Nanopori	Tempurung Kelapa	Karbon Nanopori	Tempurung Kelapa	Karbon Nanopori
Kandungan (%)	C	83,2816	96,0691	83,1582	96,9602	83,1359	97,4647	84,7418	94,3448	84,2089	98,2566
	O	15,6175	2,6168	15,7238	1,7142	16,5325	1,8222	14,9268	3,0012	15,0192	0,3501
	Na	0,0254	0,0127	0,0621	0,0382	0,0272	0,0054	0,0104	0,0414	-	0,0230
	Mg	0,0288	-	0,0796	0,0010	0,0159	-	0,0388	-	0,0432	-
	Al	-	-	-	0,0371	0,0021	0,1917	0,0142	1,6169	-	0,0089
	Si	0,0143	1,2586	0,0444	1,1939	-	0,3065	0,0140	0,6236	0,0308	0,0072
	Cl	-	-	-	-	-	-	-	0,3165	-	0,2490
	K	0,3205	0,0164	0,7715	0,0003	0,1603	0,1281	0,1081	0,0496	0,5013	0,0112
	Ca	0,2713	0,0264	0,1161	0,0082	0,0757	0,0060	0,0984	0,0060	0,0623	0,0351
	Fe	0,4407	-	0,0443	0,0470	0,0506	0,0753	0,0475	-	0,1343	-
	Pt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0589
Yield* (%)		26,906	-	26,616	-	28,213	-	28,093	-	28,043	-
Luas Permukaan Spesifik (m ² /g)		-	522,330	-	517,860	-	676,806	-	891,212	-	730,111
Radius Pori rata-rata (nm)		-	1,0528	-	1,0700	-	1,0456	-	1,0480	-	1,0371
Volume Total (cc/g)		-	0,27495	-	0,27706	-	0,35384	-	0,46700	-	0,37861
Volume Mikropori (cc/g)		-	0,005921	-	0,00598	-	0,004565	-	0,003465	-	0,004233
Volume Lain (cc/g)		-	0,269029	-	0,27108	-	0,349275	-	0,463535	-	0,374377
Kapasitansi (F/g)		-	2,26	-	3,07	-	1,65	-	2,08	-	2,92

*yield diperoleh dari perbandingan massa karbon yang dihasilkan terhadap massa tempurung kelapa mula-mula sebelum karbonisasi

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa bahan yang digunakan sebagai prekursor karbon sudah bagus, karena memiliki kandungan karbon rata-rata diatas 80 % serta menghasilkan karbon nanopori dengan kandungan karbon di atas 90 %. Namun dibutuhkan *treatment* dari sisi aktivasi dan ukuran karbon, karena belum ditemukan adanya korelasi antara kandungan awal, luas permukaan spesifik, dan kapasitansinya.

Daftar Pustaka

- [1] Rosi, M., Abdullah, M., & Khairurrijal. (2009). Sintesis Nanopori Karbon dari Tempurung Kelapa sebagai Elektroda pada Superkapasitor. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, 26.
- [2] Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., et al. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.*, 1054.
- [3] Huang, P.-H., Cheng, H.-H., & Lin, S.-H. (2015). Adsorption of Carbon Dioxide onto Activated Carbon Prepared from Coconut Shells. *Journal of Chemistry*, 1.
- [4] Sethia, G., & Sayari, A. (2015). Activated carbon with optimum pore size distribution for hydrogen storage. *Carbon* 99, 289.
- [5] Yang, J., Zou, L., Song, H., & Hao, Z. (2011). Development of novel MnO₂/nanoporous carbon composite electrodes in capacitive deionization technology. *Desalination*, 199-206.
- [6] Jänes, A., Kurig, H., & Lust, E. (2007). Characterisation of activated nanoporous carbon for supercapacitor electrode materials. *Carbon*, 1226-1233.
- [7] Caccin, M., Giacobbo, F., Da Ros, M., Besozzi, L., & Mariani, M. (2013). Adsorption of uranium, cesium and strontium onto coconut shell. *J Radioanal Nucl Chem*, 9-18.
- [8] Gyoung-Ja, L., & Su-Il, P. (2007). Synthesis and Characterization of Nanoporous Carbon and Its Electrochemical Application to Electrode Material for Supercapacitors. Dalam C. G. Vayenas, *Modern Aspects of Electrochemistry* 41 (hal. 140). New York: Springer-Verlag New York.
- [9] Yang, J., Liu, Y., Chen, X., Hu, Z., & Zhao, G. (2008). Carbon Electrode Material with High Densities of Energy and Power. *Acta Physico-Chimica Sinica*, 13.
- [10] Perkasa, A. Y., & Darminto. (2014). Pembentukan Fasa Kristalin dalam Proses Pemanasan Tempurung Kelapa Muda Dalam Sawarna (Cocos Nucifera L.) dengan Atmosfer Udara. *JURNAL TEKNIK POMITS*, 1.
- [11] Pari, G. (2011). Pengaruh Selulosa Terhadap Struktur Karbon Arang. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 37.
- [12] Yang, K., Peng, J., Srinivasakannan, C., Zhang, L., Xia, H., & Duan, X. (2010). Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating. *Bioresource Technology* 101, 6163-6169.
- [13] Hu, Z., & Srinivasan, M. P. (2001). Mesoporous High-surface-area Activated Carbon. *Microporous and Mesoporous Material*, 267-275.
- [14] Iqbaldin, M. M., Khudzir, I., Azlan, M. M., Zaidi, A., Surani, B., & Zubri, Z. (2012). Properties of Coconut Shell Activated Carbon. *Journal of Tropical Forest Science* 25, 497-503.
- [15] Eryati, D. H. (2016). *Desalinasi Air Laut Berbasis Teknologi Capacitive Deionization Menggunakan Elektroda Karbon Nanopori*. Bandung: Universitas Telkom.
- [16] Dewi, M. F. (2017). *VARIASI KOMPOSISI ELEKTRODA KARBON NANOPORI UNTUK APLIKASI CAPACITIVE DEIONIZATION*. Bandung: Universitas Telkom.
- [17] Sing, K. S., Everett, D. H., Haul, R. A., Moscou, L., Pierotti, R. A., Rouquerol, J., et al. (1985). REPORTING PHYSISORPTION DATA FOR GAS/SOLID SYSTEMS with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity. *INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY*, 611-612.
- [18] Anonymous. (2015). THEORY AND DISCUSSION. Dalam *GAS SORPTION SYSTEM OPERATING MANUAL* (hal. 3499-355). USA: Quantachrome Instruments.